

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-183710

(43)Date of publication of application : 06.07.2001

(51)Int.Cl.

G02F 1/313
G02B 6/12

(21)Application number : 11-369646

(71)Applicant : KDDI CORP
UNIV WASEDA

(22)Date of filing : 27.12.1999

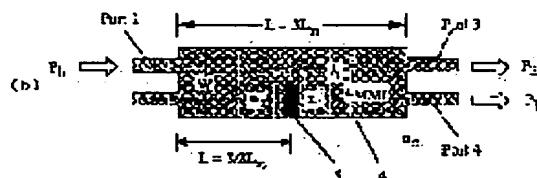
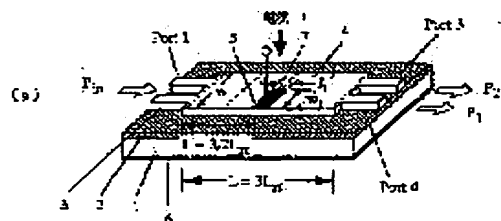
(72)Inventor : YAZAKI TOMOMOTO
HOTTA MASAKATSU
TANAKA SHINSUKE
MATSUSHIMA YUICHI
UKO KATSUYUKI
NAGAI SHUICHI
YAGI MIKITO

(54) MULTIMODE INTERFERENCE WAVEGUIDE TYPE LIGHT SWITCH

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high functional light switch which is compact and multifunctional, which has extremely small dependence on polarized light and which is operated in a wide wavelength region.

SOLUTION: In the multimode interference waveguide type optical switch, a multimode interference waveguide which can guide a plurality of intrinsic modes and which changes the distribution of light according to the propagation distance by the interference of transverse modes, is used to spatially distribute the light signals. The multimode interference waveguide has a region where the refractive index can be partially modified.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

13.09.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-183710

(P2001-183710A)

(43) 公開日 平成13年7月6日 (2001.7.6)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
G 0 2 F 1/313		G 0 2 F 1/313	2 H 0 4 7
G 0 2 B 6/12		G 0 2 B 6/12	J 2 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-369646

(22) 出願日 平成11年12月27日 (1999. 12. 27)

(71) 出願人 000208891

ケイディーディーアイ株式会社

東京都新宿区西新宿二丁目3番2号

(71) 出願人 390001421

学校法人早稲田大学

東京都新宿区戸塚町1丁目104番地

(72) 発明者 矢崎 智基

埼玉県上福岡市大原2-1-15 株式会社

ケイディーディー研究所内

(74) 代理人 100069257

弁理士 大塚 学

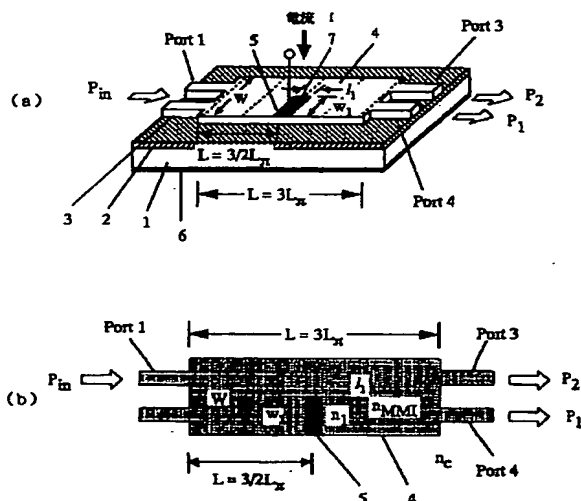
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多モード干渉導波路型光スイッチ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】コンパクトで多機能、かつ偏光依存性が極めて小さく、広波長域で動作する高機能光スイッチを提供することを目的とする。

【解決手段】複数の固有モードを導波可能であり、該横モードの干渉により伝搬距離に応じて光分布が変化する多モード干渉導波路が、光信号を空間的に振り分けるために用いられている多モード干渉導波路型光スイッチにおいて、前記多モード干渉導波路は、屈折率が部分的に変調可能な領域を有することを特徴とする構成を有している。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の固有横モードを導波可能であり、該横モードの干渉により伝搬距離に応じて光分布が変化する多モード干渉導波路が、光信号を空間的に振り分けるために用いられている多モード干渉導波路型光スイッチにおいて、前記多モード干渉導波路は、屈折率が部分的に変調可能な領域を有することを特徴とする多モード干渉導波路型光スイッチ。

【請求項2】 請求項1に記載の多モード干渉型光スイッチにおいて、上記屈折率変調領域の長さが該多モード干渉導波路中を伝搬する光波に対して 2π 程度またはそれ以下の位相変化を与える長さであることを特徴とする多モード干渉導波路型光スイッチ。

【請求項3】 請求項2に記載の多モード干渉型光スイッチにおいて、上記屈折率変調領域が複数あることを特徴とする多モード干渉導波路型光スイッチ。

【請求項4】 請求項1に記載の多モード干渉型光スイッチにおいて、上記屈折率変調領域の長さが該多モード干渉導波路の全長もしくはその数分の一程度の長さであることを特徴とする多モード干渉導波路型光スイッチ。

【請求項5】 請求項4に記載の多モード干渉型光スイッチにおいて、該多モード干渉導波路の全長もしくはその数分の一程度の長さにわたる屈折率変調領域が、該多モード干渉導波路に接続する複数の入力導波路の間に形成されていることを特徴とする多モード干渉導波路型光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光信号を空間的に振り分ける光空間スイッチに関するものである。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信において、超高速な光信号の特性を劣化させずに空間的なスイッチングを行う光スイッチは、光クロスコネクタや光交換などを実現する上で重要なデバイスである。これまでに光スイッチとして、反射器の機械的な移動により光路を切り換える空間ビーム切替方式や方向性結合器やマッハツェンダー干渉計型、さらに交差導波路反射型などといった導波路型光スイッチが検討されてきた。空間ビーム切替型は構成が単純でスイッチングが確実であるが、スイッチング速度が数ミリ秒と遅く、また、機械的な安定性に問題があり、さらに、装置サイズが大きくなるという欠点があった。他方、導波路型は一般的に素子サイズが小さく、また集積化が容易なため多チャンネルにも対応可能であり、現在はこの方式のデバイスが主流となっている。上述の導波路型光スイッチングにおいては、交差導波路反射型は交差部における導波路幅が広がるため、消光比特性やクロストーク特性に問題があり、現在ほとんど検討されていない。

【0003】他方、図8及び図9にそれぞれ示す方向性結合器型やマッハツェンダー干渉計型光スイッチは、動作が確実であったり超高速な動作が実現できるため、主にニオブ酸リチウム(LiNbO_3 :LN)を用いて精力的に検討されてきており、光スイッチのみならず超高速光変調器などとしても実用化されている。いずれのデバイスも導波路幅が数 μm 以下の2本の単一モード導波路を用い、一方の導波路の屈折率を電気光学効果の原理により変調することにより、導波路内の伝搬光の位相を変調し、それらの合波時に干渉させて、位相差に応じて出力を変化させるのである。ちなみに、この位相変調及び干渉を別々に行うのがマッハツェンダー干渉計型であり、同時進行で行うのが方向性結合器型光スイッチといえる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】いずれも導波特性が単純であるため、動作が確実であるという特徴を有している反面、構造的に 1×1 もしくは 2×2 に限定され、機能が限定される。また、マッハツェンダー干渉計型は3dBカップラもしくはY型分岐器が2個必要であり、そのためデバイスサイズが大きくなりがちであり、他方、方向性結合器型は素子長がより短くてすむが、それでも数mmの長さが必要となる。さらに、必要なスイッチング電圧や最適素子長などが偏光により異なり、素子特性にも偏光依存性が現れたり、波長依存性も大きいという欠点があった。素子特性に偏光依存性があると、光ファイバ通信のように、入力光の偏光状態がランダムに変化する場合に、出力に揺らぎが生じ、実用上重大な障害となる。また、素子サイズはなるべく小さく、一つの素子で種々の機能が得られる方が高集積化により多チャンネルへの対応が可能となり、また柔軟な特性を有するデバイスを実現することができる。

【0005】本発明は、前記の従来技術の問題点を解決するためになされたもので、コンパクトで多機能、かつ偏光依存性が極めて小さく、広波長域で動作する高機能光スイッチを提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するために、本発明は、複数の固有横モードを導波可能であり、該横モードの干渉により伝搬距離に応じて光分布が変化する多モード干渉導波路が、光信号を空間的に振り分けるために用いられている多モード干渉導波路型光スイッチにおいて、前記多モード干渉導波路は、屈折率が部分的に変調可能な領域を有することを特徴とする構成を有している。

【0007】

【発明の実施の形態】本発明は、多モード干渉(MM1)導波路内の定められた領域の屈折率を変調する機構を導入したことに特徴がある。どの領域に屈折率変調領域を設けるかにより種々の光スイッチング特性が達成さ

れるが、例えば、MMI導波路の中央に導波路の全長一杯の長さの領域の屈折率を変調する場合には 1×2 または 2×2 の光スイッチが、また、導波路の半分の長さの場合には3dB分岐が、さらに複数の領域の屈折率を組み合わせて変調する場合には $n \times n$ の光スイッチを実現することができる。この多機能光スイッチング動作は、MMI導波路の偏光依存性や波長依存性が極めて小さいという特徴がそのまま生かされるので、実用性の優れた高機能光スイッチングデバイスを実現することができる。

【0008】以下に本発明を図面を用いて詳細に説明する。本発明の理解を容易にするために、まず、多モード干渉導波路の基本的な性質について説明を行う。図1に均一屈折率を有する受動導波路からなる最も単純な多モード干渉導波路における光の伝搬特性を示す。材料は例として、InGaAsPを用いた場合について説明する。1はn-InP基板、2はInGaAsP導波路層、3はp-InPクラッド層で、導波路構造としてリッジ構造について示した。図1(a)は 2×2 構造で非対称入力、(b)は 1×2 構造で対称入力の場合である。多モード干渉導波路は、文字通り複数の横モード(多モード)が存在し得る導波路幅を有しており、単一モードである入力光が複数の横モードを励振することにより、それら横モードが導波路内を伝搬するに従って干渉し合い、周期的に固有の強度分布を示す。いま、基本モード及び1次高次モードの伝搬定数差による結合長を $L\pi$ ($=\pi/(\beta_0 - \beta_1)$)とおくと、図1(a)の非対称入力の場合には、 $6L\pi$ を周期として、また図1(b)の対称入力の場合には $3/4L\pi$ を周期として入力光と同一の光強度分像を結ぶこととなる。ここに、多モード干渉導波路の幅をW、等価屈折率をn、入射光の波長を λ とすると、 $L\pi = 4nW^2/3\lambda$ で与えられる。従って、所望の光強度分布が得られるように導波路長を設定し、適正な位置に出力導波路を設けることにより、クロスポートやストレートポートからの光出力や、さらに3dBカブラのようなパワー分岐器として機能させることができる。ちなみに、図1(a)は導波路長を $6L\pi$ に設定した場合で、入力光と同一の出力がストレートポートより、(b)は $(3/4)L\pi \times 2$ 、5に設定した場合で、3dBカブラとして機能させた例について示してある。

【0009】本発明は、上述の多モード干渉導波路内の部分的な領域の屈折率を変調することにより、出力導波路間で光スイッチングを達成させるものであり、以下に本発明の実施例を図面を用いて詳細に説明する。以下では材料として、特に断りがない場合には、図1に示すInGaAsP/InPについて述べられている。

【0010】以下本発明の実施例を図面を用いて詳細に説明する。

【0011】(実施例1) 本発明による多モード干渉型

光スイッチの第1の実施例として、斜視図を図2(a)に、また平面模式図を図2(b)に示す。ここに、1はn-InP基板、2はInGaAsP導波路層、3はp-InPクラッド層であり、導波路構造はリッジ構造である。これらの半導体多層構造は、有機金属気相成長(MOCVD)法や分子線エビタキシャル成長(MBE)法などで作製される。本実施例は、多モード干渉導波路4の幅がW、長さLが $3L\pi$ に対応する 2×2 構造であり、無変調時には透過光がクロス側に出力される構造である。素子寸法の具体例として、波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ 、多モード干渉導波路の屈折率を $n_{\text{InP}} = 3.219$ 、クラッドの屈折率を $n_c = 3.058$ 、多モード干渉導波路幅が $W = 12 \mu\text{m}$ の場合、素子長は $L = 1296 \mu\text{m}$ となる。また、本発明の特徴として、多モード干渉導波路の部分領域5の屈折率変調用に素子の長手方向のちょうど中央部、すなわち入力端より $(3/2)L\pi$ の位置に、長さ及び幅がそれぞれ l_1 及び w_1 の電極7が形成されている。同時に基板側に対向する電極6が形成されている。

【0012】本実施例での部分的屈折率変調領域5の位置並びに寸法は、以下のように選ばれている。まず位置であるが、長さ $L = 3L\pi$ の素子長のちょうど中央は、図1(a)よりわかるように非対称に入力された入力光 P_{in} が2つのピークに分割される位置に対応する。すなわちこのピークの一方の位相が少なくとも π だけ変化できるように、屈折率変調の手段と屈折率変化量が考慮されて屈折率変調領域5の寸法が設定されている。ここでは屈折率変調を達成する手段として電流注入による方法をとるとすれば、電流密度として数 kA/cm^2 の電流注入により、屈折率 n_1 について約1%の変化が得られることが知られている。この実験事実を考慮すると、 π の位相変化を得る屈折率変調領域5の長さは $l_1 = 24 \mu\text{m}$ となる。ちなみに、屈折率変調領域5の幅は1つのピークの光強度分布がカバーされる $w_1 = 6 \mu\text{m}$ である。

【0013】本実施例の動作は次の通りである。すなわち、部分屈折率変調領域5への電流注入がない場合には、多モード干渉導波路長が $3L\pi$ であるため、Port1からの入力光 P_{in} はクロス側のPort4から P_4 として出力される。次に屈折率変調領域5へ電流を注入すると、この部分を通る光が位相変調を受けるわけであるが、上述のように素子の中央は2つのピークを有する光電界分布となる。すなわち、単一横モードの入力光が多モード導波路において複数の固有モードに分配されるが、この中央部分では等価的に一定の位相関係の偶モードと奇モードが存在すると考えることができる。ここでそれらのモード分布の半分の領域の位相を π 変化させると、偶モードと奇モードが反転し、素子の後半部分の光の伝搬が前半部分と同様の位相の推移で伝搬することとなる。従って、入力光と同一側のポートであるPort3、

すなわち、ストレート側からの出力P₂へスイッチさせることができる。

【0014】本実施例の動作は、動作原理は異なるが図9に示す2×2マッハツェンダ干渉計型光スイッチの一方の導波路の屈折率を π だけ変化させることにより、クロスからストレートへスイッチさせることと同様に考えることができる。さらに、図8の示す方向性結合器の動作に例えることもできる。これらの従来例に比べて本実施例の特徴は、コンパクトな素子長で同様の2×2の動作が得られるばかりでなく、以下の実施例で示すよう

に、多ポート構造への拡張や、単純なスイッチングばかりでなく種々の機能的な光スイッチングを実現可能であることにある。

【0015】（実施例2）本発明による第2の実施例として、3ポートに拡張した多モード干渉光スイッチの実施例について述べる。図3は、部分屈折率変調領域5を4つ5-1、5-2、5-3、5-4のように設けた多モード干渉導波路型光スイッチの平面模式図である。これらの部分屈折率変調領域5-1、5-2、5-3、5-4には対応する電極7-1、7-2、7-3、7-4

20 が設けられて多モード干渉導波路4の長さLは $3L\pi$ であり、無変調時に非対称ポート入力光がクロス側に、また対称ポート入力光が中央から出力される構造となっている。例えば、多モード干渉導波路の幅を $W=12\mu\text{m}$ とすると、 $L=1296\mu\text{m}$ である。本発明の特徴である部分屈折率変調領域5-1、5-2、5-3、5-4は、図のようにそれぞれ入力端より $L/8$ 、 $L/2$ 、 $5L/8$ の位置に形成されており、これらの位置は多モード干渉の結果光強度分布が2つのピークとなる位置である。それぞれ領域の大きさは実施例1と同様に、現実的

30 な電流注入量である数 kA/cm^2 により、伝搬光の位相が少なくとも π の変化が達成可能な長さで電界分布の1つのピークをカバーする幅を有し、例えば、長さは $l_1=l_2=l_3=l_4=24\mu\text{m}$ 、幅は $w_1=w_2=w_3=w_4=6\mu\text{m}$ である。

【0016】まず非対称ポート入力であるPort1より光が入力する場合について説明する。上述のように無変調時には、図4(c)に示すようにクロス側のPort6より出力される。ここで変調領域5-3の屈折率 n_3 を減少させ、位相を $-\pi$ 変化させると光出力は図4(a)のよう

40 にPort4にスイッチさせることができる。次に、変調領域5-3及び5-4の屈折率を減少させ、位相をそれぞれ $-\pi/2$ 及び $-\pi$ 変化させると、図4(b)のように中央のポートであるPort5より光出力を得ることができる。すなわち、1×3の光スイッチとして機能させることができる。同様の機能がPort3からの光入力に対しても得られることは言うまでもない。次に対称ポートである中央のPort2より光入力した場合の動作について述べる。無変調時には、素子長が $3L\pi$ のため4回同一像を結像して中央のポートPort5より出力される（図5

(b))。次に、変調領域5-1及び5-3の屈折率 n_1 及び n_3 を減少させ、それぞれの位相を $-\pi$ 及び $-\pi/2$ だけ変化させることによりPort4から（図5

(a))、また変調領域5-1及び5-2の屈折率 n_1 及び n_2 を減少させ、それぞれの位相を $-\pi$ 及び $-\pi/2$ だけ変化させることによりPort6から（図5

(c))、それぞれ光出力を得ることができる。すなわち、対称入力である中央のポートからの光入力に対してもやはり1×3光スイッチとして機能させることができる。

【0017】これまでは1入力1出力の光スイッチングの動作であったが、同一の電極構造で1入力2出力、すなわち例えば3dBカップラとして機能させることもできる。その動作を図6に示す。非対称入力であるPort1からの入力に対しては変調領域5-2の部分の位相を $-\pi/2$ だけ変化させることによりPort4及びPort6から等量の出力が（図6(a))、また、対称入力であるPort2からの入力については変調領域5-1及び5-3の部分の位相をいずれも $-\pi$ だけ変化させることによりやはりPort4及びPort6から等量の出力を（図6(b))

20 得ることができる。これらの特性はいずれの場合も-20dB以下の低クロストークを達成することができる。

【0018】以上の本発明の第2の実施例では、横方向に2ピークの光強度分布を形成する部分の一方のピークの導波路部分の屈折率を変調することにより、多モード間の干渉を変調し、特定のポート間で光スイッチングを行わせるものであるが、ごく限られた部分屈折率変調領域5のパターンしか説明しなかった。しかしながら、本発明は多モード干渉導波路の特定の部分の屈折率を変調し、機能的な光スイッチングを実現可能であることが大きな特徴であり、この趣旨に則れば上記で説明した変調領域パターンにとらわれず、他の領域の屈折率を変調することにより、さらに機能性の高い光スイッチングを達成することが可能である。また、ポート数については2×2及び3×3構造について説明したが、これにとらわれることなく、さらに多くのポート数や入力と出力で非対称なポート数の構造に適用可能であることは言うまでもない。

【0019】（実施例3）本発明による多モード干渉導波路の屈折率変調領域を導波路の長手方向の全長もしくは数分の一程度の長さで形成した実施例を図7に示す。上述の他の実施例とは、多モード干渉導波路に部分的な屈折率変調領域が形成されているという点では同じであるが、本実施例においては屈折率変調によって光の位相を変調するというより、むしろ光の閉じ込めを変調する点で異なる。

【0020】図7は屈折率変調領域が多モード干渉導波路の中央に長手方向全長にわたり形成された多モード干渉型光スイッチの構造図である。1は $n-\text{InP}$ 基板、2は InGaAsP 導波路層、3は $p-\text{InP}$ クラッド

層であり、導波路構造としてリッジ構造について示した。これらの半導体多層構造は、有機金属気相成長(MOCVD)法や分子線エピタキシャル成長(MBE)法などで作製される。多モード干渉導波路の長さ L は $3L\pi$ であり、多モード干渉導波路幅 $W=12\mu\text{m}$ の場合素子長は $L=1296\mu\text{m}$ となる。従って、無変調時には単一モード導波路であるPort1からの入力光はクロス側のPort4より出力される。幅 w_1 が $4\mu\text{m}$ の屈折率変調領域が5-5及び5-6とそれぞれの長さが $(3/2)L\pi$ ずつと半分に分かれている理由は後述するが、対応する両電極7-5、7-6に同様の電流を注入することにより、全長にわたり屈折率を減少させ、その結果多モード干渉導波路を2本の導波路に分離することができる。その結果、Port1からの入力光は延長上の分離された一方の導波路をそのまま直進し、Port3から出力される。すなわち、電流注入によりPort3とPort4の間で光スイッチングを行わせることができ、 2×2 の光スイッチとして機能させることができる。

【0021】次に、長さ $(3/2)L\pi$ の部分屈折率変調領域の一方、例えば変調領域5-5に電流を注入した場合、Port1からの入力光が上述のように直進し、その部分を通過後は残りの $(3/2)L\pi$ の長さの多モード干渉導波路を伝搬することとなる。この長さに対しては、図1(a)に示すように2つのピークからなる光強度分布で出力される。従って、Port3及びPort4より等量の光強度で出力される3dBカブラとして機能させることができる。同様の機能は、反対に変調領域5-6の屈折率を減少することによっても達成することができる。すなわち、2つの変調領域5-5、5-6を同時に、もしくはどちらか一方に電流を注入することにより、同一のデバイスで光スイッチもしくは3dBカブラと機能を変えることができる多機能光スイッチが実現可能である。

【0022】本実施例では、 2×2 光スイッチとして機能させるために変調領域5-5および5-6の幅 w_1 は $4\mu\text{m}$ としたが、屈折率の減少量が少ない場合にはモードの閉じ込めが不十分であり、クロストークが劣化する場合も考えられる。その場合には、変調領域5-5、5-6を多モード干渉導波路幅の半分以上に相当する $8\mu\text{m}$ とし、Port4側の端に寄せることにより一層クロストーク特性を改善させることも可能である。但し、この場合は 1×2 構造となる。

【0023】本発明の実施例として 2×2 及び 3×3 構造についてのみ説明したが、本発明の多モード干渉導波路の適当な部分の屈折率を変調するという趣旨に基づき、 4×4 以上の多ポート構造や多段接続構造などに適用することができる。さらに、また、InGaAsP/InPリッジ構造を例として説明したが、材料としてG

aAs/AlGaAsなどの他の半導体やさらにニオブ酸リチウムやガラスなどの誘電体にも適用することができる。その際に、屈折率変化を達成する手段として、本実施例で述べた電流注入のみならず、用いる材料に応じて電圧印加やヒータ加熱によっても実現することができる。また、導波路構造もリッジ構造以外のあらゆる導波路構造に適用可能である。

【0024】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明の部分屈折率変調多モード干渉導波路型光スイッチは、コンパクトで極めて多機能な光スイッチを実現することができるため、少ないデバイス数で高度な機能の達成が可能で多チャンネル光スイッチ集積回路を作製することができるとともに、これをキーデバイスとして通信や放送と融合したマルチメディア対応の次世代大容量光ファイバ通信や光クロスコネクタ、高度波長多重通信システムなどの構築に大きな効果を有するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】多モード干渉導波路内の光伝搬の原理を説明するための図である。

【図2】本発明による部分屈折率変調多モード干渉型光スイッチの第1の実施例の斜視図(a)及び平面図(b)である。

【図3】本発明による部分屈折率変調多モード干渉型光スイッチの第2の実施例の平面図である。

【図4】本発明による部分屈折率変調多モード干渉型光スイッチの第2の実施例を、非対称光入力の場合について示す平面図である。

【図5】本発明による部分屈折率変調多モード干渉型光スイッチの第2の実施例を、対称光入力の場合について示す平面図である。

【図6】本発明による部分屈折率変調多モード干渉型光スイッチの第2の実施例を、3dBカブラ動作の場合について示す平面図である。

【図7】本発明による部分屈折率変調多モード干渉型光スイッチの第3の実施例を示す斜視図である。

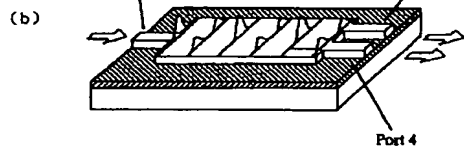
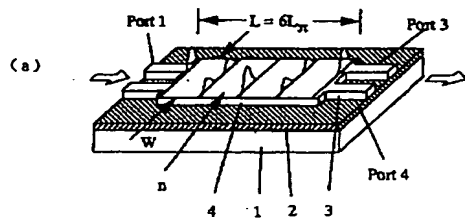
【図8】光スイッチの第1の従来例の斜視図である。

【図9】光スイッチの第2の従来例の斜視図である。

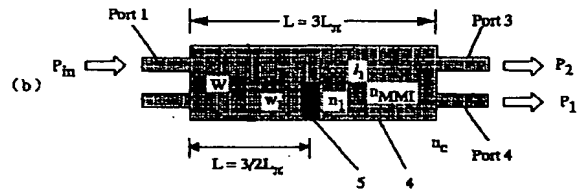
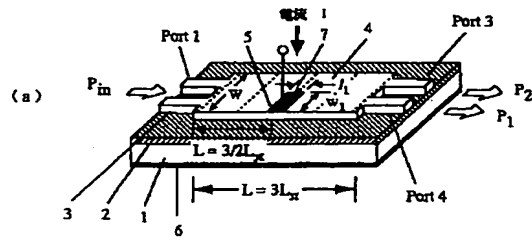
【符号の説明】

- 1 n-InP基板
- 2 InGaAsP導波路層
- 3 p-InPクラッド層
- 4 多モード干渉導波路
- 5, 5-1, 5-2, 5-3, 5-4 屈折率変調領域
- 6 基板側電極
- 7, 7-1, 7-2, 7-3, 7-4, 7-5, 7-6 部分屈折率変調領域の電極

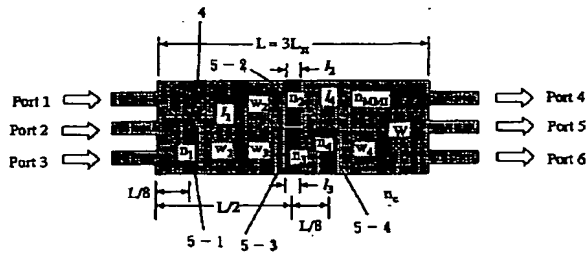
【図1】



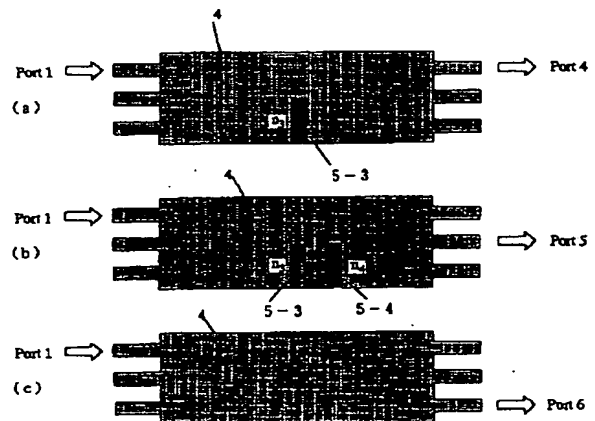
【図2】



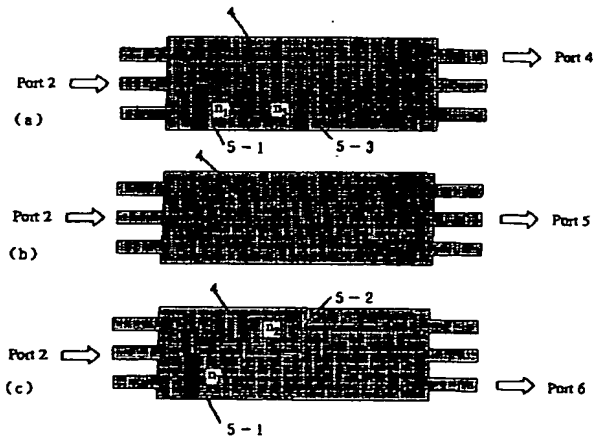
【図3】



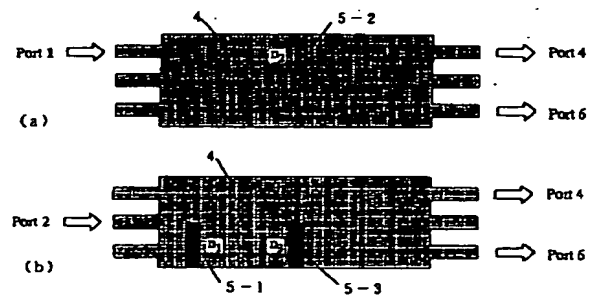
【図4】



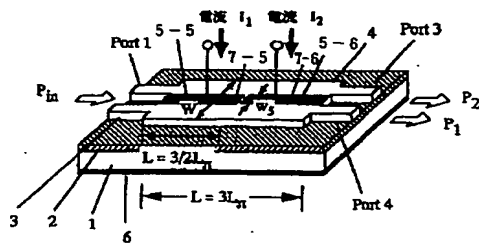
【図5】



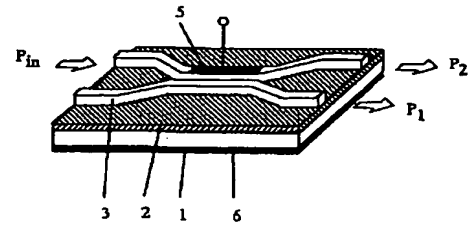
【図6】



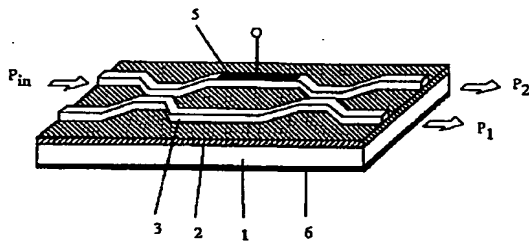
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 堀田 昌克
 埼玉県上福岡市大原2-1-15 株式会社
 ケイディディ研究所内
 (72)発明者 田中 信介
 埼玉県上福岡市大原2-1-15 株式会社
 ケイディディ研究所内
 (72)発明者 松島 裕一
 埼玉県上福岡市大原2-1-15 株式会社
 ケイディディ研究所内

(72)発明者 宇高 勝之
 東京都新宿区戸塚町1-104 学校法人
 早稲田大学内
 (72)発明者 永井 秀一
 東京都新宿区戸塚町1-104 学校法人
 早稲田大学内
 (72)発明者 八木 幹人
 東京都新宿区戸塚町1-104 学校法人
 早稲田大学内

Fターム(参考) 2H047 NA02 RA08 TA13
 2K002 AA02 AB04 BA08 CA13 CA22
 DA03 DA11 EA05 EA27 FA02
 HA01